

---

# ***RECUPERO DI ENERGIA DA BIOMASSA***

---

*Paola Caputo (1)*

*Arturo Romer (2)*

## **1. Introduzione**

Con il termine biomassa solitamente si indica un vasto insieme di materiali di natura estremamente eterogenea. In generale, è biomassa tutto ciò che ha matrice organica, ovvero il materiale organico<sup>1</sup> costituito o derivato da organismi vegetali o loro componenti, utilizzabile in processi di trasformazione termochimica o biochimica. La biomassa utilizzabile ai fini energetici consiste in tutti quei materiali organici che possono essere utilizzati direttamente come combustibili ovvero trasformati in altre sostanze (solide, liquide o gassose) di più facile utilizzo negli impianti di conversione. Le principali tipologie<sup>2</sup> di biomassa comunemente impiegate a fini energetici sono:

- colture energetiche (dedicate) sia arboree che erbacee (ad esempio, Short Rotation Forestry);
- residui agricoli, agroindustriali, artigianali, industriali, civili (esempi: paglia, sansa di oliva, legna vecchia, vinacce, buccette, gusci di frutta secca, stocchi di mais, lolla di riso, particolari frazioni di rifiuti urbani (RU) e di rifiuti assimilabili agli urbani (A));
- residui forestali, legna da ardere, altri prodotti ligneo-cellulosici puri.

Le biomasse appositamente coltivate a fini energetici possono essere distinte in erbacee e arboree. Tra le colture erbacee si ricordano, ad esempio, il Sorgo da fibra, la Canna comune, il Miscanto. Tra le colture arboree si ricordano, ad esempio, il Pioppo e la Robinia.



*Figura 1: trasporto, stoccaggio ed impiego di legna (foto Timberjack)*

---

<sup>1</sup>La materia organica vegetale, di origine biologica e non fossile, sia spontanea che coltivata dall'uomo, è prodotta per effetto del processo di fotosintesi clorofilliana con l'apporto dell'energia della radiazione del sole, di acqua e di svariate sostanze nutritive. Grazie a tale processo, la materia vegetale costituisce in natura la forma più sofisticata per l'accumulo dell'energia solare.

<sup>2</sup> Si preferisce la definizione precedentemente riportata, anche se, secondo alcuni, sono biomasse anche tutti i prodotti organici derivanti dall'attività biologica degli animali e dell'uomo, inclusi gas, reflui e rifiuti urbani.

Oggi sono disponibili tecnologie affidabili e sperimentate che consentono uno sfruttamento intensivo, diffuso e distribuito del potenziale energetico delle biomasse, sia di quelle appositamente coltivate per uso energetico che di quelle derivanti dai sottoprodotti delle attività agroindustriali e forestali.

Le biomasse sono sempre state impiegate dall'uomo e con diverse finalità. L'utilizzo delle biomasse a scopo energetico produce consistenti benefici a livello ambientale, occupazionale e di politica energetica.

### **Benefici ambientali**

La biomassa assorbe CO<sub>2</sub> dall'atmosfera durante la crescita e la restituisce all'ambiente nel corso della combustione. Pertanto, il bilancio della CO<sub>2</sub>, viene definito nullo<sup>3</sup> (combustione senza contribuire all'effetto serra). Le emissioni di inquinanti acidi, ossidi di azoto, polveri e microinquinanti possono essere controllati con le moderne tecnologie di combustione e depurazione dei fumi. Il basso contenuto di zolfo e di altri inquinanti fa sì che, quando utilizzate in sostituzione di carbone e di olio combustibile, le biomasse contribuiscano ad alleviare fenomeni di acidificazione.

### **Benefici occupazionali**

E' evidente che le diverse fasi del ciclo produttivo del combustibile da biomassa, sia esso di origine agricola o forestale, creano posti di lavoro e favoriscono la ripresa dei settori agricolo e forestale. Inoltre, anche l'industria collegata alle tecnologie di conversione energetica potrebbe trarre un considerevole beneficio occupazionale.

### **Benefici per la politica energetica**

L'energia delle biomasse vegetali contribuisce a ridurre la dipendenza dalle importazioni di combustibili fossili e a diversificare le fonti di approvvigionamento energetico oltre che al perseguimento degli obiettivi imposti nell'ambito delle conferenze internazionali sul clima.

D'altro canto, tra i fattori che limitano l'affermazione delle biomasse per l'uso energetico ve ne sono tuttora diversi di natura tecnica, collegati sia alle fasi di approvvigionamento e trasporto che alla fase di conversione. Per rimuovere questi ostacoli sono in atto diversi programmi di ricerca, mentre restano da risolvere le fondamentali difficoltà legate principalmente al superamento delle barriere non-tecniche. In generale, se si fa riferimento all'energia ricavata con sistemi efficienti nei Paesi Sviluppati, il costo dell'energia da biomassa è, attualmente, ancora maggiore di quello derivante dalle fonti fossili, anche se vi è una tendenza verso la competitività, nel breve periodo. In realtà, per il recupero di tipo termico o cogenerativo, vi sono già esperienze economicamente sostenibili e competitive, dovute all'alto costo del gas per le utenze civili. E' da notare che il gap di costo tra le fonti rinnovabili e quelle fossili, sarebbe invertito se venissero considerati nell'analisi costi-benefici gli aspetti ambientali ed i costi sociali connessi alla combustione dei materiali fossili. Infatti, in generale, le esternalità della generazione energetica non sono incorporate nei costi. Ciò limita sicuramente la transizione verso un uso maggiormente efficiente della biomassa a fini energetici. Un ovvio meccanismo per rendere competitiva l'energia da biomassa è quello di applicare tecnologie in grado di aumentare il livello di rendimento della conversione in energia e di ridurre, contemporaneamente, i costi di investimento.

---

<sup>3</sup> Considerazioni ulteriori riguardano le scale temporali della crescita e dell'impiego e la generazione di inquinanti concernente l'intera fase di generazione di energia.

## 2. Impiego e diffusione

Attualmente, la popolazione mondiale soddisfa il 12-15% del proprio fabbisogno di energia primaria con biomassa. In Europa il contributo di questa fonte al soddisfacimento dei fabbisogni primari di energia è del 3 - 4%. Tale contributo sale al 35 - 38% nei paesi in via di sviluppo, dove tuttavia viene utilizzata con tecnologie a bassissimo rendimento energetico<sup>4</sup>. Ad oggi, le biomasse soddisfano il 15% circa degli usi energetici primari nel mondo, con 55 milioni di TJ/anno (1.230 Mtep/anno), così ripartiti:

### ➤ Paesi in Via di Sviluppo:

48 milioni di TJ/anno (1.074 Mtep/anno).

In molti di essi tale risorsa soddisfa fino al 90% del fabbisogno energetico totale, mediante la combustione di legno, paglia e rifiuti animali).

### ➤ Paesi Industrializzati:

7 milioni di TJ/anno (circa 160 Mtep/anno). In particolare:

- USA: 3,2 milioni di TJ/anno (circa 70 Mtep/anno)
- Europa: 1,8 milioni di TJ/anno (circa 40 Mtep/anno).

La biomassa viene impiegata con finalità energetiche per utilizzo immediato, come, ad esempio, per impiego domestico in cucina o per generare elettricità e calore in industrie produttrici di biomasse come residui. Tuttavia, soltanto una piccola frazione di biomassa è utilizzata in impianti moderni ed efficienti in grado di asservire ad una vasta rete di consumatori. I presupposti per un impiego efficiente e di vasta scala della biomassa sono:

- la conversione in un'opportuna forma di energia di facile distribuzione, ovvero in un vettore energetico tale da poter essere distribuito attraverso i famigliari canali di distribuzione;
- la creazione di condizioni tali da rendere tale fonte competitiva dal punto di vista economico.

In particolare, i Paesi del centro-nord Europa sono all'avanguardia nello sfruttamento delle biomasse come fonte energetica, grazie ai numerosi grossi impianti di cogenerazione e teleriscaldamento alimentati a biomasse installati. In termini percentuali<sup>5</sup>, si possono segnalare le seguenti punte di utilizzo della biomassa a fini energetici (le percentuali sono riferite alla quota di energia primaria coperta da tale fonte):

- Finlandia 18% circa;
- Svezia 17% circa;
- Austria 13% circa.

In Svizzera, la biomassa rappresenta la fonte rinnovabile più utilizzata per gli usi termici. A volte, si tratta di impianti a recupero energetico di tipo cogenerativo (elettricità + calore). Il consumo annuo medio di legna supera i 2 milioni di m<sup>3</sup>.

---

<sup>4</sup> Spesso, in tal caso, la biomassa sottratta all'ambiente non viene rinnovata con nuove coltivazioni. Ad esempio, il rapporto fra ettari disboscati e rimboscati ogni anno in Asia, per esempio, è attualmente di 25 a 1.

<sup>5</sup> Fonte: I Georgofili, quaderni 99-IV, Valorizzazione energetica delle biomasse agroforestali, Firenze, 2000, Studio Editoriale Fiorentino.

### 3. Modalità di conversione

Le modalità di conversione della biomassa per l'impiego a fini energetici possono essere di tipo biochimico o di tipo termochimico<sup>6</sup>. Le principali tecnologie attualmente disponibili vengono sinteticamente descritte di seguito.

#### **Digestione anaerobica**

E' un processo di conversione di tipo biochimico che avviene in assenza di ossigeno e consiste nella demolizione, ad opera di micro-organismi, di sostanze organiche complesse (lipidi, protidi, glucidi) contenute nei vegetali e nei sottoprodotti di origine animale, che produce un gas (biogas) costituito abitualmente per il 50÷70% circa da metano e per la restante parte da CO<sub>2</sub> ed altri componenti. Il potere calorifico del gas ottenuto varia a seconda del contenuto di metano. Un valore medio può essere posto pari a circa 23.000 kJ/Nm<sup>3</sup>. Il biogas così prodotto viene trattato, accumulato e può essere utilizzato come combustibile per alimentare caldaie a gas o motori a combustione interna.

#### **Digestione aerobica**

E' un processo di degradazione delle sostanze organiche per opera di micro-organismi, il cui sviluppo è condizionato dalla presenza di ossigeno. Questi batteri convertono sostanze complesse in altre più semplici, liberando CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O e producendo un elevato riscaldamento del substrato, in modo proporzionale alla loro attività metabolica.

#### **Fermentazione alcolica**

E' un processo di trasformazione dei glucidi contenuti nelle produzioni vegetali in etanolo, impiegato come carburante per autotrazione. Oggi, vi sono anche prodotti alternativi, come l'ETBE (Etil-TerButilEtere), ottenuto combinando un idrocarburo petrolifero (l'isobutene) e l'etanolo.

#### **Estrazione di oli vegetali da piante oleaginose (soia, colza, girasole, ecc.)**

In Europa, le principali piante oleaginose impiegabili per tale scopo sono la colza e il girasole. Gli oli da esse ricavati possono essere utilizzati come combustibili nello stato in cui vengono estratti oppure dopo esterificazione.

#### **Combustione**

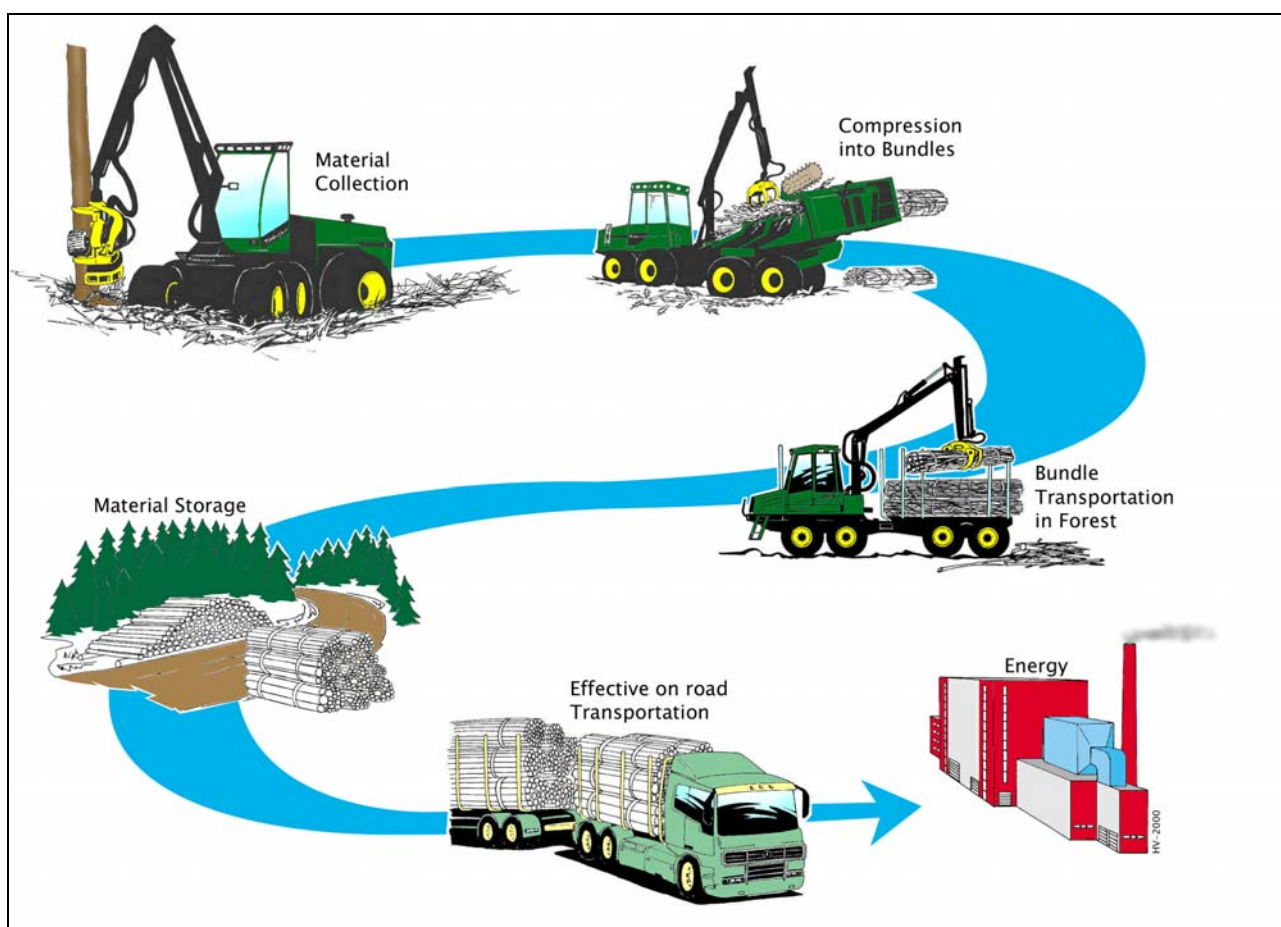
Dal punto di vista termodinamico, la combustione è un processo di conversione dell'energia chimica del combustibile in calore.

- Un'alternativa alla combustione è la cocombustione: la biomassa viene convertita in energia elettrica in centrali tradizionali alimentate con combustibile fossile (carbone), sostituendo una frazione di questo con biomassa (co-combustione).

---

<sup>6</sup> Secondo alcuni è meglio sottoporre a processi biochimici biomasse in cui il rapporto C/N sia inferiore a 30 e l'umidità alla raccolta superiore al 30%, mentre è meglio sottoporre a processi termochimici prodotti e residui cellulosici e legnosi in cui il rapporto C/N abbia valori superiori a 30 ed il contenuto di umidità non superi il 30%.

L'energia termica recuperata viene poi utilizzata per riscaldamento oppure per generare elettricità grazie a cicli a gas o a vapore. La combustione di biomassa associata a cicli a vapore Rankine non consente di ottenere ottimi rendimenti di generazione elettrica. Valori tipici per impianti di potenza medio – grande (nel caso delle biomasse, ciò significa almeno dell'ordine dei 10 MW elettrici) si aggirano intorno al 25% come rendimento elettrico netto, mentre, sono nettamente inferiori in caso di impianti di piccola taglia. La combustione di combustibili poveri, inoltre, presenta alcune problematiche dovute, sostanzialmente, a bassi valori di PCI , scarsa applicazione di essiccamento e condizioni ottimali di stoccaggio al fine di diminuire il contenuto di umidità, basso punto di fusione delle ceneri (in funzione del tipo di biomassa considerata). Attualmente, sono presenti sistemi sperimentali più complessi, costosi e forse non ancora sufficientemente consolidati a scala commerciale (vedere oltre).



*Figura 2: raccolta, trasporto combustione della legna (disegno Timberjack)*

## Gassificazione

La gassificazione è un processo chimico-fisico complesso mediante il quale si trasforma un combustibile solido (legno, scarti agricoli, rifiuti) in un combustibile gassoso. Il processo si realizza in 3 fasi:

- una prima fase di essiccazione in cui si ottiene la disidratazione del materiale;
- una seconda fase di pirolisi in cui si ottiene una parziale “distillazione” del legno;
- una terza fase di gassificazione in cui i prodotti della pirolisi reagiscono con l’agente gassificante dando origine a vari prodotti di cui alcuni compatibili.

Il processo consiste nell'ossidazione incompleta (a causa dell'assenza o della carenza di ossigeno), di una sostanza in ambiente ad elevata temperatura ( $900 \div 1'000^{\circ}\text{C}$ ). Il prodotto risultante è un gas combustibile (detto gas di gasogeno o syngas) caratterizzato da un potere calorifico inferiore variabile (valori intermedi attorno a  $10.000 \text{ kJ/Nm}^3$ ). Questa tecnologia è ancora in fase di sperimentazione e presenta alcune problematiche.

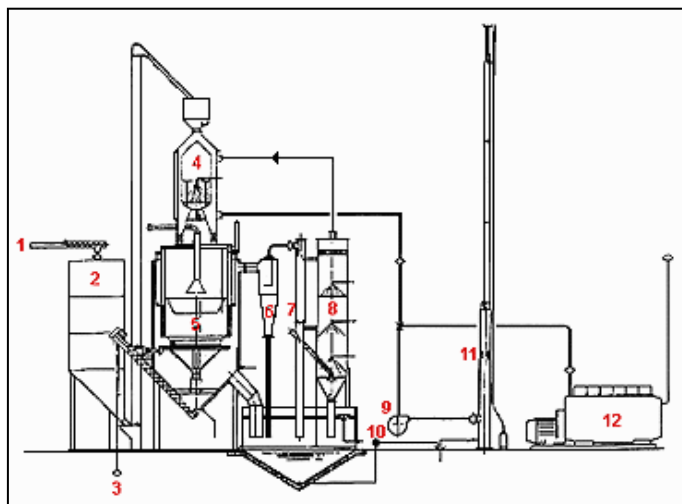


Figura 3: schema di impianto per la gassificazione della lolla di riso (unità da 80 kW<sub>e</sub>, Italia)



Figura 4: vista del gasogeno

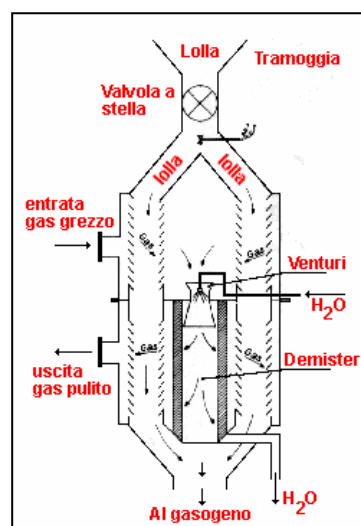


Figura 5: gasogeno e trattamento gas

I vantaggi della gassificazione rispetto alla più tradizionale combustione possono essere così riassunti:

- elevato rendimento di generazione elettrica, anche a piccola scala;
- buone prospettive di utilizzo in impianti di teleriscaldamento (central heating plant, anche combined heat and power generation CHP);
- emissioni e relative esternalità più contenute.

I gassificatori possono essere a letto fisso o a letto fluido (bollente o circolante). Un sistema di gassificazione completo comprende: gassificatore, ciclone di abbattimento delle polveri, sistema di raffreddamento del gas, sistema di lavaggio (*cleaning*) del gas, sistema di separazione delle condense ed un sistema di depolverazione finale. La figura successiva rappresenta un tipo di gassificatore a biomassa già da anni sperimentato con biomasse di vario tipo. Infatti, possono essere utilizzate tipologie di materiali tipici regionali: olivo, cerro, quercia, bucce di mandorle e di albicocche e loro miscele.



*Figura 6: gassificatore (fonte: Gruppo Marcegaglia)*

Tra le maggiori applicazioni della biomassa gassificata<sup>7</sup>, vi è la cocombustione (*cofiring*) di syngas in impianti a gas esistenti.

Un'altra applicazione della gassificazione, è rappresentata dagli impianti IGCC (*Integrated gasification and combined cycle*), massima espressione del concetto *biomass-to-electricity*. I cicli IGCC (integrated gasification combined cycles), invece, a fronte di una maggiore complessità impiantistica, consentono di raggiungere rendimenti di generazione elettrica dell'ordine del 30 - 35%, anche

---

<sup>7</sup>Vedere anche l'articolo "*Status of biomass gasification*", Renewable Energy World, July-August 2001. La trattazione è valida in particolare per i Paesi che hanno partecipato ai lavori della IEA sulla gassificazione.

nel caso delle biomasse. Inoltre, tecnologie innovative in grado di abbinare i cicli combinati con le celle a combustibile, consentono di raggiungere valori di rendimento superiori al 50% anche a piccole scale (5 –10 MW elettrici).

Infine, vi è l'applicazione della gassificazione in letto fisso. Diversi impianti di questo tipo e di piccola scala sono in esercizio nel mondo. Si tratta di esperienze di successo, ad esempio in Finlandia e Danimarca, oppure in India e Cina (almeno 100 gassificatori a letto fisso), per la produzione di elettricità ad uso locale per industrie e fattorie. Anche in altri Paesi vi sono gassificatori a letto fisso di piccola taglia, caratterizzati da un fattore di utilizzo di almeno 1000 ore all'anno di generazione elettrica. Tuttavia, nonostante ci siano numerose esperienze di impianti a scala pilota, vi sono solo pochissimi impianti a scala commerciale nei Paesi dell'OECD.

In conclusione di quanto riportato, si può affermare che vi siano ancora delle lacune di carattere tecnico scientifico sulla gassificazione ed i sistemi di lavaggio (*cleaning*) del syngas. *Il cofiring* rappresenta l'approccio più competitivo per motivi di flessibilità ed emissioni evitate. Su piccola scala, invece, la gassificazione in letto fisso ha vantaggi dovuti all'alto rendimento di generazione elettrica ed alla possibilità di impiego del calore in situ. In questo caso, tuttavia, si riscontrano problemi di gestione o di smaltimento degli effluenti liquidi e solidi. Gli impianti IGCC potrebbero rappresentare l'ottimo per il futuro della massificazione. A tal proposito sarebbe opportuno fare ancora sperimentazioni e verifiche.

## **Pirolisi**

E' un processo di decomposizione termochimica di materiali organici, ottenuto fornendo calore, a temperature comprese tra 400 e 800°C, in forte carenza di ossigeno. I prodotti della pirolisi sono gassosi, liquidi e solidi, in proporzioni che dipendono dai metodi di pirolisi (pirolisi veloce, lenta, convenzionale) e dai parametri di reazione. Uno dei maggiori problemi legati alla produzione di energia basata sui prodotti della pirolisi è la qualità dei medesimi. Spesso, infatti, il livello di qualità non risulta essere sufficientemente adeguato per le applicazioni con turbine a gas e motori diesel. Indicativamente, facendo riferimento alle taglie degli impianti si può affermare che i cicli combinati ad olio pirolitico appaiono i più promettenti, soprattutto in impianti di grande taglia, mentre motori a ciclo diesel, alimentati con prodotti di pirolisi, sembrano più adatti ad impianti di piccola potenzialità. In particolare, a livello sperimentale, si nota che:

- con una pirolisi lenta a basse temperature e lungo tempo di permanenza si ha un contenuto carbone di legna di circa il 30% in peso con un contenuto energetico di circa il 50%;
- la pirolisi estremamente veloce (*flash pirolisi*) condotta ad una temperatura relativamente bassa (intorno a 500 °C con un massimo di 650°C) e con un tempo di permanenza molto basso (meno di 1 secondo) fa aumentare i prodotti liquidi fino all'80% in peso;
- la pirolisi estremamente veloce (*flash pirolisi*) condotta a temperature superiori (sopra i 650°C) fa aumentare i prodotti gassosi fino all'80% in peso;
- una pirolisi condotta in condizioni convenzionali, ovvero a temperature moderate (inferiori a 600 °C) dà origine a prodotti gassosi, liquidi e solidi in proporzioni più o meno costanti.

La produzione di bio-olio consente di avere un combustibile a più alto contenuto energetico se comparato con la biomassa di partenza e, una volta stabilizzato, stoccabile per lungo tempo a temperatura ambiente senza problemi di degradazione.



## 4. Impiego dell'energia

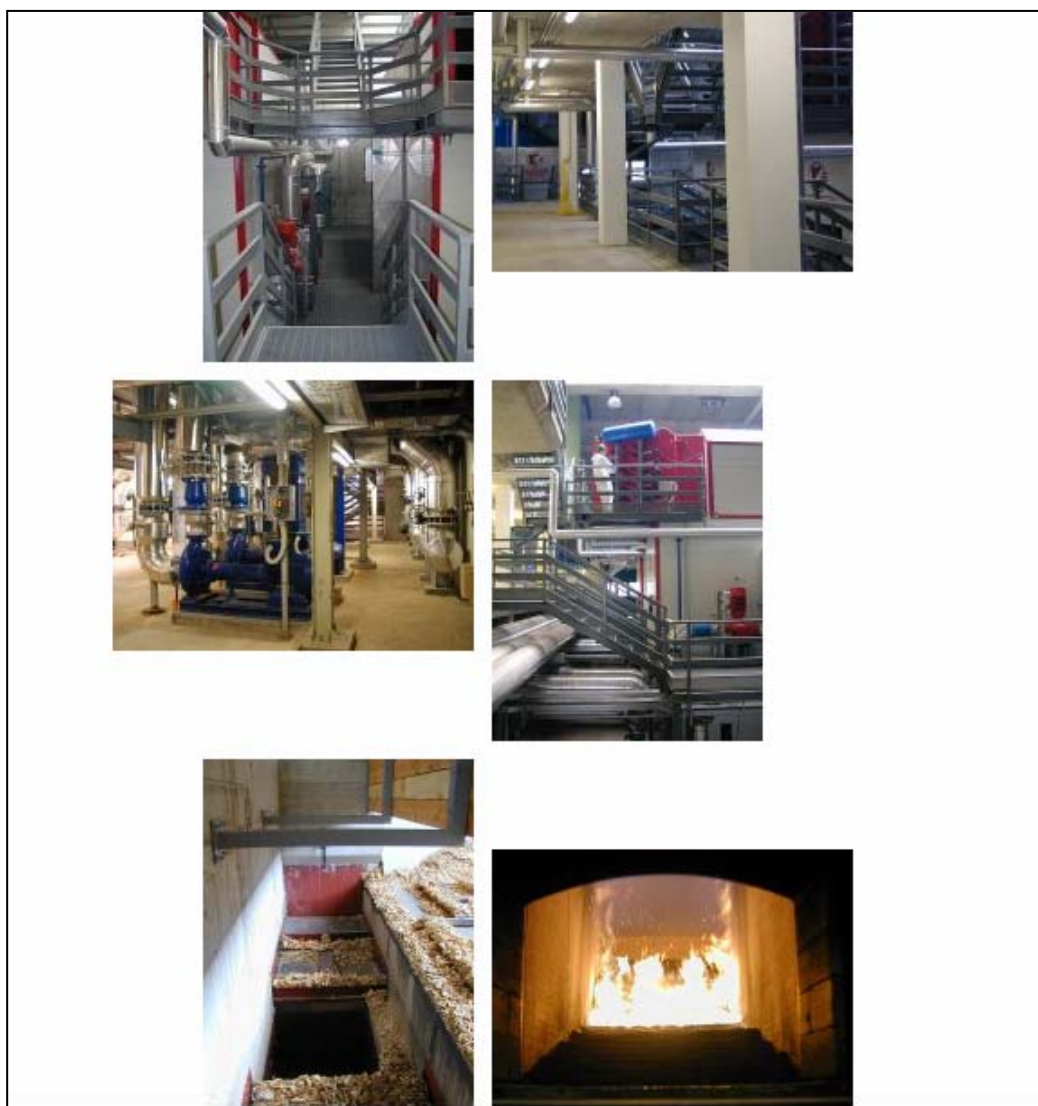
I campi di applicazione più diffusi sono: residenziale termico, commerciale/industriale, industriale/civile elettrico. Esistono settori di mercato in cui l'energia da biomassa risulta essere competitiva rispetto ai combustibili fossili, come il riscaldamento degli edifici pubblici e privati, dove metano e gasolio costano più delle biomasse ligneo-cellulosiche e, per gli impianti soggetti a particolari incentivi, la produzione di energia elettrica.

### **Recupero termico: impianti isolati e di teleriscaldamento**

Per il riscaldamento di singoli edifici con biomassa la tecnologia offre almeno due distinte soluzioni impiantistiche: le caldaie a legna in pezzi grossi e le caldaie a legno sminuzzato. Le prime, a caricamento manuale e con potenza fino a un centinaio di kW, sono adatte per un uso familiare<sup>8</sup> e plurifamigliare. Le caldaie a legno sminuzzato (cippato) hanno sistemi di caricamento del combustibile e di controllo della combustione completamente automatici. Le potenze vanno dal centinaio di kW termici fino a qualche MW termico. Questi impianti sono particolarmente adatti al riscaldamento di edifici di una certa dimensione (alberghi, scuole, ospedali, condomini). Se gli utenti da riscaldare sono numerosi e situati a breve distanza tra loro può risultare conveniente realizzare un impianto di teleriscaldamento a biomassa. Questi impianti sono costituiti da un'unica centrale termica alimentata con legno sminuzzato o con paglie, alla quale sono allacciati diversi utenti per mezzo di una rete di distribuzione del calore mediante tubi interrati. La potenza va da pochi MW termici a qualche decina di MW termici. Presso ogni utente viene installata una sottocentrale dotata di scambiatore di calore nel quale l'energia viene ceduta all'acqua circolante nell'impianto domestico (vedi per esempio [www.turboden.com](http://www.turboden.com)).

---

<sup>8</sup> Ad esempio: caldaie a fiamma rovesciata, basate sulla tecnologia del gassogeno, caratterizzate da rendimento e autonomia elevati.



*Figura 7: particolari degli impianti della centrale di Tirano (Kohlbach), bocca di caricamento del cippato e fuoco nella caldaia principale  
(fonte: [www.teleriscaldamento.valtline.it/tirano/welcome.htm](http://www.teleriscaldamento.valtline.it/tirano/welcome.htm))*

### **Recupero elettrico e cogenerativo**

Una delle applicazioni più interessanti nello sfruttamento energetico delle biomasse è la produzione di elettricità o di elettricità e calore (cogenerazione) con la sostituzione dei combustibili fossili convenzionali con biomassa quali, ad esempio, la legna e i sottoprodotti di origine agroindustriale. L'elettricità può essere prodotta in impianti basati su diverse tecnologie, ad esempio, tramite l'espansione di vapore in turbina. Se si impiegano biocombustibili, i cicli a vapore sono caratterizzati da rendimenti piuttosto limitati (a titolo di esempio, impianti con ciclo a vapore e letto fluido da 10 MW progettati con criteri moderni hanno rendimenti elettrici dell'ordine del 25-30%). Gli impianti di tipo cogenerativo, che producono calore, impiegato per processi industriali e per il riscaldamento residenziale, e nello stesso tempo energia elettrica, hanno il vantaggio di produrre in modo combinato elettricità e calore, con un rendimento complessivo del sistema più alto rispetto alla sola generazione di energia elettrica.

Tecnologie più innovative adottano i cicli combinati (previa gassificazione), composti da una turbina a gas e da un ciclo a vapore alimentato dai gas di scarico dell'espansore. In particolari situazioni, si verifica la fattibilità di impianti a biomassa di piccole dimensioni, ad esempio per piccole comunità oppure per zone con disponibilità puntuale e concentrata di biomassa. In tal caso, si verifica che, per piccoli impianti di potenza inferiore al MW, il rendimento del ciclo a vapore cala drasticamente fino a diventare antieconomico. In questi casi possono essere utilizzati turbogeneratori a fluido organico (la turbina è azionata da vapore organico ad alta massa molecolare). I rendimenti elettrici sono relativamente elevati (15-20%) già per potenze dell'ordine di qualche centinaio di kW. Per potenze ancora più piccole, installabili presso utenze isolate, sono in fase di sperimentazione prototipi da alcuni kW basati su motori Stirling (meno sensibili alla variazione della composizione del gas) o su gassificatori associati a motori a combustione interna.

*(1) Dr. Paola Caputo, Ingegnere Ambientale, pHD in Energetica, Politecnico di Milano ed Accademia di Mendrisio*

*(2) Prof. Dr. Arturo Romer, direttore Eletticità Svizzera Italiana*